

## **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA CILINDRICO DE MEDIDA DE RADARES DE GRAN ENVERGADURA**

MARTÍN JIMÉNEZ, FERNANDO  
BURGOS MARTÍNEZ, SARA  
SIERRA CASTAÑER, MANUEL  
BESADA SANMARTÍN, JOSÉ LUIS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Esta comunicación recoge el diseño y desarrollo de un sistema de adquisición cilíndrico para la medida de grandes Radares. El sistema consiste en una torre de 17 m de altura que actúa como generatriz del cilindro por la que se mueve la plataforma de la sonda. Para el movimiento de rotación se aprovecha el propio giro del Radar. Se presentan las principales características del sistema, sus especificaciones y sus diferentes subsistemas: subsistema de radiofrecuencia, subsistema de posicionamiento y subsistema de adquisición. Dos son los problemas principales que se abordan: asegurar la linealidad de las medidas sobre el eje generatriz y reducir el tiempo de medida. Para lo primero se utiliza un sistema basado en un detector de cuadrantes sobre el que incide un láser. Para reducir el tiempo se aquilatan los procesos de adquisición utilizando ciclos de tres vueltas de radar. Por último, se recoge el software de transformación de campo cilíndrico cercano a lejano realizado y el interfaz software que integra todos los módulos del sistema bajo un único entorno.

# DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA CILINDRICO DE MEDIDA DE RADARES DE GRAN ENVERGADURA

Fernando Martín Jiménez<sup>(1)</sup>, Sara Burgos Martínez<sup>(1)</sup>, Manuel Sierra Castañer<sup>(1)</sup>, J.L. Besada Sanmartín<sup>(1)</sup>

[fmartin@gr.ssr.upm.es](mailto:fmartin@gr.ssr.upm.es), [sarab@gr.ssr.upm.es](mailto:sarab@gr.ssr.upm.es), [m.sierra.castaner@gr.ssr.upm.es](mailto:m.sierra.castaner@gr.ssr.upm.es), [besada@gr.ssr.upm.es](mailto:besada@gr.ssr.upm.es).

<sup>(1)</sup> Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid.  
E.T.S.I. Telecomunicación. Ciudad universitaria s/n. 28040, Madrid.

**Abstract-** This document presents a new cylindrical near field system for antenna measurements. This system is especially designed for huge Radar antennas. The Radar movement is used as rotational positioner, and a 17 m tower allows the z axis linear movement. The alignment in the xy plane is assured by a optical quadrant detector, that operates two steps motors. The measurement is based in three complete radar rotations cycles, controlled by a PC. The acquisition is made by the analyzer using an embedded macro. In this way the measurement time is optimized. Also, a near field to far field transformation software has been developed. Finally, a friendly software environment for the integration has been implemented. The radiofrequency system designed allows the operation either the radar as a transmitter or a receiver

## I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el diseño y construcción de antenas para todo tipo de aplicaciones ha experimentado un auge realmente notable. Parejo a este auge ha ido el desarrollo de sistemas de medida que permitieran determinar las características de estas antenas. En la actualidad existen técnicas de medida de antenas completamente estandarizadas y sistemas de ámbito general que han demostrado su validez para la caracterización de antenas.

Sin embargo existen antenas que por sus características (por ejemplo su tamaño) para las que los sistemas contruidos para uso general no se pueden utilizar y hay que optar por desarrollos ad-hoc. En el caso que nos ocupa se trata de caracterizar antenas RADAR consistentes en arrays planos de dipolos, con una dimensión total para el sistema radiante superiores a 11x10 m. Se trata de un sistema complementario al que se recoge en [1] que detalla el sistema construido para la medida de filas de estos arrays. Fig. 1 recoge un ejemplo de los sistemas a medir.

Se ha diseñado y desarrollado para la medida un sistema outdoor cilíndrico consistente en una sonda lineal que recorre un eje vertical de más de 15 m y que aprovecha el giro del radar como movimiento en azimut. El número de posiciones de medida sobre este el eje lineal así como el número de ángulos de la adquisición vienen determinados por el radio de la mínima esfera que incluye a la antena y por su frecuencia. Por lo tanto si se quiere optimizar el tiempo del proceso, y dado que la velocidad de giro es única y los puntos de medida mínimos también, es necesario aquilatar los tiempos de adquisición de datos.

Esta comunicación recoge el diseño y construcción del sistema de medida. Se detallan sus especificaciones y los subsistemas de radiofrecuencia, posicionamiento y adquisición; prestando especial atención al sistema de alineamiento sobre el eje de profundidad. A continuación se presenta el software de transformación de campo cilíndrico a lejano y se finaliza con el interfaz gráfico que integra todos los subsistemas.

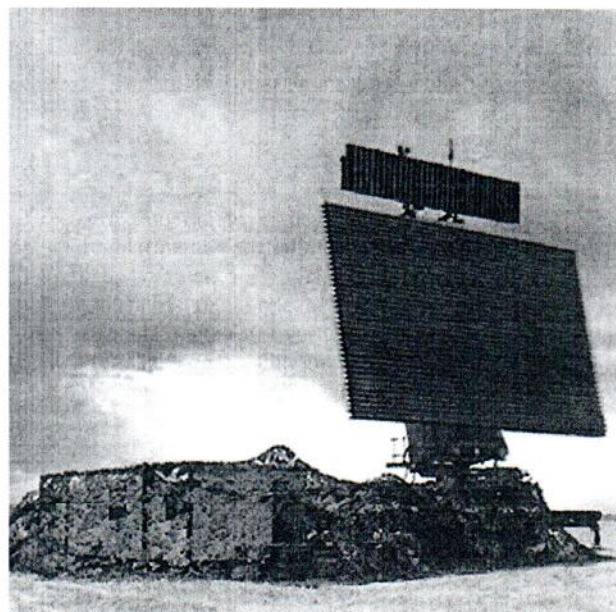


Fig. 1. Ejemplo de antena a medir

## II. VISIÓN GENERAL DEL SISTEMA

La instalación consiste en un sistema de adquisición del campo próximo radiado por la antena sobre una malla de puntos regularmente distribuidos en una superficie cilíndrica. El mallado regular se obtiene desplazando la sonda de medida, a saltos regulares, a lo largo de una deslizadera lineal acoplada a una torre vertical y adquiriendo los campos a saltos regulares en azimut, cuando se mueve la antena bajo prueba (Antena RADAR) instalada en su propio posicionador de azimut.



En definitiva, el movimiento en azimut lo realiza el propio posicionador del RADAR, con su eje de rotación bien nivelado verticalmente; mientras que el movimiento lineal de la sonda, sobre una generatriz vertical del cilindro (eje z), se controla a través de un PC y un software de posicionamiento adecuado. La forma habitual de adquisición será mantener el RADAR girando a velocidad angular constante, posicionar la sonda en los distintos puntos verticales de la malla, y tomar datos regularmente distribuidos en  $\phi$  (para cada posición z) a lo largo de dos vueltas: una para cada polarización. La vuelta siguiente a la adquisición de la segunda polarización se utilizará para mover la sonda a la siguiente posición en z, de manera que el sistema se basará en ciclos de tres vueltas.

Para asegurar una correcta rectitud del eje z de la adquisición, la sonda de medida se situará sobre una mesa XY motorizada (situada sobre la plataforma móvil según el eje z) y controlada mediante un servo analógico cuyos errores x e y de desplazamiento se obtienen de un detector de cuadrantes que se mueve solidariamente con la sonda y que es excitado por una plomada óptica (haz láser vertical) que esta situada en la base de la torre.

La medida de la antena se realizará a las distintas frecuencias de medida, en onda continua, mediante un analizador vectorial de redes. El analizador vectorial de redes, así como el movimiento de todos los ejes, se controlará a través de un PC y del software de adquisición especialmente desarrollado para esta aplicación.

Una vez realizada la adquisición se debe realizar una transformación de los valores de campo próximo cilíndrico a campo lejano, y una representación de los parámetros de la antena, mediante el software de transformación y representación. Ambos paquetes software irán integrados en la misma aplicación.

### III. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Las prestaciones y precisiones exigidas para la medida de las antenas RADAR son las siguientes:

- Margen angular de medida en azimut:  $0^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$
- Margen angular de la medida en elevación: depende de la geometría de la antena y distancia y altura de la torre. Más adelante se analizan los valores máximos que se obtienen.
- Error máximo de medida en ganancia:  $\pm 0.5$  dB
- Error máximo a un nivel de  $-30$  dB:  $\pm 2$  dB
- Error máximo a un nivel de  $-40$  dB:  $\pm 3$  dB
- Error máximo en la posición del haz:  $\pm 3$  minutos en acimut y elevación ( $\pm 0.05^\circ$  de especificación para la alineación del haz)
- Margen de frecuencia de medida: 1000 a 1400 MHz.

Las características geométricas del sistema de medida que afectan al sistema son las siguientes:

- Recorrido útil máximo de la torre: 15.5 metros
- Separación entre sonda y ABP:  
Valor máximo: 7 metros  
Valor mínimo: 4 metros.

### IV. SUBSISTEMA DE RADIOFRECUENCIA

El subsistema de radiofrecuencia está compuesto por los siguientes elementos:

- Analizador de redes Agilent E5070B.

- Conmutador electromecánico de radiofrecuencia Narda para medir las dos polarizaciones. Controlado desde el PC.
- Sonda de medida de doble polarización.
- Amplificadores en recepción y transmisión de MITEQ.
- Cables de radiofrecuencia (Gore), cuya longitud ha sido optimizada para apurar al máximo en tango dinámico del sistema. Los cables son de igual longitud para asegurar que las derivas de temperatura afecten por igual.

Además, el sistema ha sido diseñado para poder operar con el radar tanto en recepción (Fig. 2) como en transmisión (Fig. 3).

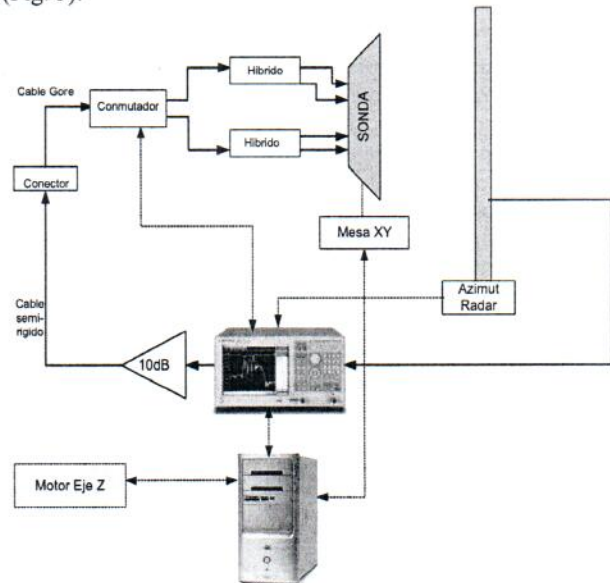


Fig. 2. Configuración del sistema con el radar en recepción

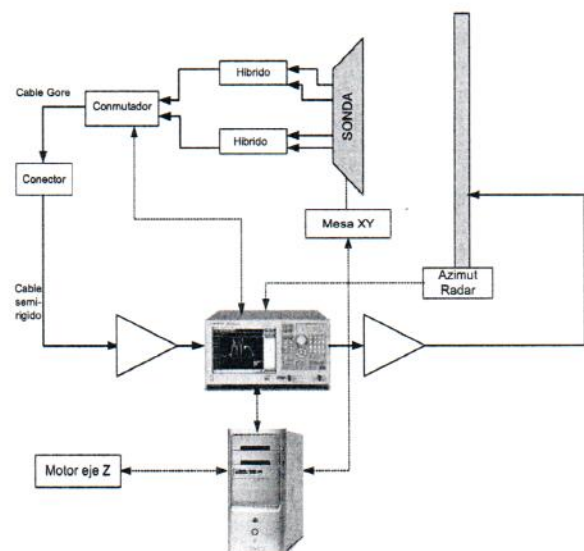


Fig. 3. Configuración del sistema con el radar en transmisión

Por último se ha introducido un sensor de temperatura que transmite información al PC de control a través de un



cable usb. Con esta información luego se pueden realizar correcciones en el proceso de transformación de manera que el efecto de las variaciones de temperatura se vea reducido.

## V. SUBSISTEMA DE POSICIONAMIENTO

El subsistema de posicionamiento realiza los procesos necesarios para asegurar que la sonda mide los distintos nodos de la malla. La estrategia seguida busca optimizar el tiempo de medida, para lo que se utiliza un bucle gobernado por tres vueltas del radar. En la primera vuelta del ciclo se mide una polarización. En la segunda se conmuta y se procede a medir la otra polarización; y por último en la tercera se realiza el movimiento de la sonda a la siguiente posición z.

### A. Posicionamiento en el plano xy

La linealidad de la generatriz del cilindro de medida es clave en la bondad de las medidas, sobre todo en las de fase. En el caso que nos ocupa, con una torre de 17 m sometida a la intemperie, este alineamiento se hace además de crítico bastante complejo.

La solución adoptada pasa por una doble vertiente. En primer lugar un preciso mecanizado y alineamiento de las guías verticales por donde se mueve la plataforma de medida, proceso realizado usando un láser. Para reducir aún más los posibles errores de alineamiento que aún queden, así como los derivados de la flecha y movimientos de la torre sometida al viento se ha diseñado un sistema basado en un detector de cuadrantes que realmente los motores.

La operación de este sistema consiste en un láser o plomada óptica situada en la base de la torre y cuya perpendicularidad ha sido previamente asegurada. Este láser, que apunta verticalmente, incide sobre un detector plano de cuadrantes, oportunamente cegado de la luz externa, que se mueve solidariamente con la plataforma de la sonda. Este detector devuelve una señal eléctrica para cada uno de sus dos ejes que se anula en el centro y varía linealmente en amplitud al alejarnos de ese punto. Estas dos señales se introducen en un bucle de realimentación que actúa sobre dos motores paso a paso, uno por eje, que responden buscando el cero de alimentación aumentando o reduciendo su velocidad en función del nivel de entrada. De esta manera los motores contrarrestan el desplazamiento de manera continua e instantánea, no sólo para el eje x sino también para el y, asegurando una precisión en este plano con errores inferiores a  $\pm 0.1$  mm.

En caso de perder el láser se realiza una rutina de reenganche.

## VI. SUBSISTEMA DE ADQUISICIÓN

El proceso de adquisición de los datos de la medida viene estrechamente determinado por las necesidades de optimización de tiempo del proceso, lo que lleva a que se realice en parte en el PC y en parte directamente por el analizador de redes a través de una macro embebida.

El posicionador del radar envía dos señales, que corresponden al paso por cada ángulo de medida y a la inicio de cada vuelta respectivamente. La señal de inicio es la que gobierna los ciclos de medida que se explicaron en el apartado anterior. Esta señal entra al PC a través del puerto serie RS232 generando interrupciones. El PC primeramente

ha preparado las condiciones generales de la medida en el analizador, y en cada ciclo lanza la rutina de medida en el analizador para la primera vuelta, al segundo paso y tras un tiempo de guarda conmuta y en el tercero y tras un nuevo tiempo de guarda realiza el movimiento a la siguiente posición y se devuelve el conmutador a la posición inicial, deshabilitando el control de los ciclos hasta que ese proceso no se finaliza (normalmente le da tiempo en esa misma vuelta).

La macro programada en el analizador una vez desencadenada realiza la medida de cada ángulo a través de un trigger externo gobernado por la señal de paso por ángulo que entrega el radar, previamente dividida en el número que deseamos a través de un divisor programable gobernado por el puerto paralelo del PC. Con intención de ajustarnos a los tiempos del radar, se mide en la misma traza las dos polarizaciones. Así, la traza definitiva se compone de tantos puntos como dos veces el número de puntos a medir más los tiempos de guarda de conmutación y de final de traza. La Fig. 4 detalla esta distribución de tiempos.

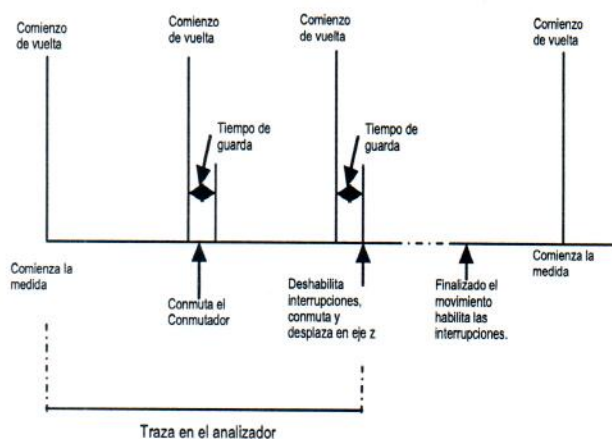


Fig. 4. Cronogramas del ciclo de la medida para una posición Z

Una vez finalizada la medida de una posición Z queda almacenada en un fichero de resultados que se va actualizando para cada medida y que se guarda en el propio analizador a fin de reducir los tiempos. Al final del proceso de medida ese fichero es transmitido al PC y allí es tratado por el software desarrollado.

## VII. SOFTWARE DE TRANSFORMACIÓN

El método empleado para determinar el campo lejano a partir de los datos de campo próximo con corrección de sonda en una superficie cilíndrica que encierra a la antena está basado en la formulación de matriz de dispersión (scattering matrix formulation) [2][3]. Este método ha sido implementado en un software que constituye un ejecutable integrado en el sistema y llamado desde el interfaz software.

A partir de los ficheros de medida, este software calcula las ecuaciones de acoplamiento en base a los distintos tipos de matrices de dispersión. Por otro lado, mediante el campo lejano de la sonda se hallan los coeficientes de corrección de sonda que luego se operan con los productos de acoplamiento para obtener así los coeficientes modales de la antena bajo prueba.



Este proyecto ha sido posible gracias a la financiación de  
INDRA SISTEMAS.

## REFERENCIAS

- [1] J. L. Besada, Fernando Martín, C. Martínez-Portas, M. Sierra-Castañer, M. Calvo Ramón, "A Linear Measurement System For Large Array Antennas", AMTA symposium proceedings, Rodhe Island, USA. Noviembre 2005.
- [2] Jorgen Appel Hansen, "On cylindrical near field scanning techniques", IEEE transactions on antennas and propagation, vol. ap-28, no. 2, pp. 231-234, March 1980.
- [3] Arthur D. Yaghjian, "An overview of near field antenna measurements", IEEE transactions on antennas and propagation, vol. ap-34, no.1, pp. 30-45, January 1986.

Datos Generales Fecha de la Medida: <input type="text" value="07/04/2006"/> Técnico: <input type="text" value="Carlos V. Piro"/>	
Ruido <input type="checkbox"/> Ruido A <input type="text" value="Cromagrama (m)"/> <input type="text" value="12"/> <input type="checkbox"/> Ruido B <input type="text" value="Distancia Medida (m)"/> <input type="text" value="7.5"/> <input type="checkbox"/> Ruido C <input type="text" value="Velocidad de Gato (m/s)"/> <input type="text" value="6"/>	
Altura de la Medida Altura Inicial (m): <input type="text" value="1"/> Altura Final (m): <input type="text" value="15.5"/>	
Datos Técnicos de la Medida Potencia de la Medida (dBm): <input type="text" value="10"/>	
Puntos de Adquisición: <input type="checkbox"/> E1 <input type="checkbox"/> E2 <input type="checkbox"/> E3 <input type="checkbox"/> E4 <input type="checkbox"/> E5 <input type="checkbox"/> E6 <input type="checkbox"/> E7 <input type="checkbox"/> E8 <input type="checkbox"/> E9 <input type="checkbox"/> E10	
Numero de Promedios: <input type="text" value="1"/>	
Frecuencia Inicial (GHz): <input type="text" value="1.2"/> Frecuencia Final (GHz): <input type="text" value="1.2"/>	
Polarización: <input type="checkbox"/> V <input type="checkbox"/> H <input type="checkbox"/> V/H	

a) Posición Actualización Procesado Representación	b) Posición Actualización Procesado Representación
---	---

Fig. 5. Interfaz desarrollado

## IX. CONCLUSIONES

Todo ello ha sido integrado en un entorno de manejo amigable y sencillo.

